

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка устройства управления BLDC - двигателем в составе мобильной робототехнической платформы

УДК 007.52:621.313.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е61	Игнатюк Сергей Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	К.Т.Н.		

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем
P3	Применять полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы
<i>Универсальные компетенции</i>	
P6	Интегрировать знания в области анализа, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем со знаниями из смежных областей
P7	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.
P8	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P10	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности
P12	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.05.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.04.2020	Основная часть	60
04.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
13.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8Е61	Игнатьюку Сергею Дмитриевичу

Тема работы:

Разработка устройства управления BLDC - двигателем в составе мобильной робототехнической платформы	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	13.05.2020 №134 - 23

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.05.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом разработки является система управления BLDC двигателем.</p> <p>Разрабатываемая система должна обеспечить движение с постоянной скоростью, моментом, поворот колеса на заданный угол, управление и обмен данными с персональным компьютером.</p>
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка структурной схемы роботизированной платформы. 2. Обзор и анализ существующих аналогов. 3. Разработка функциональных схем алгоритмов управления. 4. Выбор программных и аппаратных компонентов. 5. Разработка принципиальной схемы драйвера двигателя. 6. Разработка печатной платы.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Принципиальная электрическая схема, плата печатная</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Конотопский Владимир Юрьевич, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Матвиенко Владимир Владиславович, ассистент ООД ШБИП</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Нет</p>	
<p> </p>	
<p> </p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p> </p>
--	----------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е61	Игнатюк Сергей Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Е61	Игнатьюку Сергею Дмитриевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 мехатроника и робототехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	—
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Действующие ставки единого социального налога и НДС (см. МУ, ставка дисконтирования $i=0.1$)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка готовности полученного результата к выводу на целевые рынки, краткая характеристика этих рынков
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет величины НДС и цены результата ВКР
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Качественная и количественная характеристика экономического и др. видов эффекта от внедрения результата, определение эффективности внедрения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ - <u>выполнить</u>
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ - <u>выполнить</u>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к. э. н.		26.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е61	Игнатьюк Сергей Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Е61	Игнатьюку Сергею Дмитриевичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

Разработка устройства управления BLDC - двигателем в составе мобильной робототехнической платформы	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является система управления безколлекторным двигателем постоянного тока в составе мобильной платформы. Рабочим местом разработчика является аудитория 101 корпуса №10 ТПУ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).</p> <p>Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</p> <p>Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования ГОСТ 12.2.032-78.</p> <p>Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие</p>

	эргономические требования ГОСТ 21889-76.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ выявленных опасных факторов: — Поражение электрическим током. — Повышенный уровень ЭМП. — Недостаточная освещённость. — Отклонение показателей микроклимата. — Повышенный уровень шума.
3. Экологическая безопасность:	На атмосферу влияют вредные выбросы при производстве и установки составных элементов устройства управления, также пагубное влияние на литосферу при их утилизации. Воздействие на гидросферу пренебрежимо мало.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	В аудиторном помещении, возможно, ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е61	Игнатюк Сергей Дмитриевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 86 страниц, 20 рисунков, 14 таблиц, список используемых источников содержит 22 наименований и приложение на 4 листах.

Ключевые слова: система управления, векторное управление, бесколлекторный двигатель, робототехническая платформа.

Цель работы – разработка системы управления для робототехнической платформы, получить опыт в создании робототехнических систем.

В процессе выполнения работы был проведен обзор и анализ аналогов систем управления, на его основе были сформулированы требования к разрабатываемой системе, также были разработаны: структурная схема робототехнической платформы, функциональные схемы алгоритмов управления, принципиальная электрическая схема системы управления. Разработана печатная плата и рассчитаны комплектующие.

В будущем планируется продолжение работы по данной тематике.

Дипломная работа в текстовом редакторе Microsoft Word 2016, графический материал – с помощью онлайн-среды разработки easyeda.com.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе были использованы следующие термины и соответствующие определения:

Система управления — систематизированный (строго определённый) набор средств сбора сведений о подконтрольном объекте и средств воздействия на его поведение, предназначенный для достижения определённых целей [1];

Бесколлекторный двигатель постоянного тока — электрическая машина постоянного тока в которой коллекторный узел заменен устройством-коммутатором, в англоязычной литературе имеет обозначение BLDC [2];

Микроконтроллер — микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами [3];

Векторное управление — методом управления синхронными и асинхронными двигателями, не только формирующим гармонические токи (напряжения) фаз (скалярное управление), но и обеспечивающим управление магнитным потоком ротора [4].

Также использованы следующие сокращения:

BLDC (БДПТ) – Brushless Direct Current Motor;

СУ – система управления;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ПО – программное обеспечение;

КПД – коэффициент полезного действия;

ОУ – операционный усилитель;

ОС – операционная система.

Содержание

Введение.....	14
1 Литературный обзор аналогов.....	15
2 Разработка устройства управления BLDC двигателем.....	17
2.1 Обзор робототехнической платформы.....	17
2.2 Описание движителя.....	19
2.3 Способы управления бесколлекторным двигателем с постоянными магнитами.....	23
2.3.1 Блочная коммутация.....	23
2.3.2 Управление синусоидальным напряжением.....	25
2.3.3 Векторное управление.....	26
2.4 Описание алгоритма управления.....	28
2.4.1 Движение колеса с постоянным моментом.....	28
2.4.2 Движение колеса с постоянной скоростью.....	29
2.4.3 Поворот колеса на заданный угол.....	30
2.5 Разработка схемы драйвера двигателя.....	31
2.5.1 Подбор компонентов силовой части.....	31
2.6 Разработка датчика тока.....	41
2.6.1 Обзор аналогов датчика тока.....	41
2.6.2 Расчет элементов.....	43
2.6.3 Разработка схемы.....	46
2.7 Выбор контроллера.....	48
2.8 Разработка платы драйвера двигателя.....	50
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	51

3.1	Организация и планирование работ.....	51
3.2	Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	55
3.3	Расчет затрат на материалы	56
3.4	Расчет заработной платы	57
3.5	Расчет затрат на социальный налог	58
3.6	Расчет затрат на электроэнергию.....	58
3.7	Расчет амортизационных расходов.....	59
3.8	Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных документов.....	60
3.9	Расчет прочих расходов	61
3.10	Расчет общей себестоимости разработки.....	61
3.11	Расчет прибыли	62
3.12	Расчет НДС.....	62
3.13	Цена разработки.....	62
3.14	Оценка экономической эффективности проекта.....	62
3.15	Вывод по финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережению	63
4	Социальная ответственность	64
4.1	Введение	64
4.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64
4.3	Производственная безопасность	66
4.4	Отклонение показателей микроклимата	67
4.5	Превышение уровня шума	68

4.6	Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны.....	70
4.7	Поражение электрическим током	71
4.8	Повышенная напряженность электрического поля	72
4.9	Экологическая безопасность	73
4.10	Безопасность в ЧС	74
4.11	Вывод по социальной ответственности.....	76
	Заключение	77
	Conclusion.....	78
	Список источников	79
	Приложение А (Обязательное) Документация для драйвера двигателя	82

Введение

Стремительное развитие промышленности приводит к повышению спроса на робототехнические платформы для автоматизации технологических процессов. Такие внедрения позволяют добиться повышения эффективности производства. В связи с этим робототехнические платформы должны обладать достаточным функционалом, для выполнения своих задач. Разработка систем управления — это главный этап к достижению необходимых характеристик платформы. А использование бесколлекторных двигателей с постоянными магнитами в роботах является целесообразным за счет их высокого момента и КПД. А наличие больших вычислительных мощностей у современных микропроцессоров позволяют реализовать более ресурсозатратные алгоритмы управления. Что раньше было невозможно. В рамках дипломного проекта будет рассматриваться векторное управление. Реализация которого позволит добиться:

- высокой точности регулирования;
- плавного старта и вращения двигателя во всем диапазоне частот;
- быстрой реакция на изменение нагрузки;
- снижения потерь на нагрев и намагничивание.

Цель: разработка системы управления для робототехнической платформы, получить опыт в создании робототехнических систем.

Задачи:

- 1 Изучить принципы управления бесколлекторными двигателями
- 2 Разработать комплект схем управления двигателем
- 3 Подобрать комплектующие
- 4 Изучит алгоритмы управления
- 5 Подобрать средства автоматики

Объектом разработки является система управления BLDC двигателем на базе робототехнической платформы.

1 Литературный обзор аналогов

Векторная система управления разрабатывается под определенную модель двигателя, а подстройка СУ под другой двигатель без изменения программного кода почти не возможна.

На рынке представлено не так много различных моделей СУ, многие компании производят схожие по характеристикам драйвера двигателей. Основной объем рынка представляют модели имеющие скалярное управление, основанное на переключение фаз за счет сигнала с датчиков положения ротора. Так же есть компании, занимающиеся изготовлением СУ на заказ под конкретный двигатель. На российском рынке таких не найдено.

Одну из моделей, имеющую схожие характеристики по мощности производит российская компания PureLogic R&D [5].

Модель представлена на рынке под названием «Драйвер BLDC-5015A» (рисунок 1). Имеет максимальное напряжение питания 50 вольт и ток 15 ампер. Система управления имеет синусоидальную форму выходного напряжения, переключение фаз происходит на основе сигналов с датчиков Холла, расположенных на двигателе. Имеет систему защиты от КЗ и обратной ЭДС. Управление скоростью происходит через аналоговый вход или посредством ШИМ. Цена у производителя 8 377 руб.



Рисунок 1 – Драйвер BLDC двигателя

Ещё одним аналогом, имеющим схожие вольтамперные характеристики, является драйвер от китайской компании Green Tec Controllers. На рынке он представлен под названием «КОНТРОЛЛЕР 15GSM500W» (рисунок 2) [6]. Имеет номинальную мощность 500Вт, защиту от КЗ, режим поддержания постоянной скорости. Имеет аналоговый вход для регулировки момента. Форма подаваемого напряжения на обмотки – трапеция.



Рисунок 2 – Драйвер BLDC двигателя

Цена в интернет магазине 2829 руб.

Основными недостатками среди рассмотренных аналогов являются: отсутствие режима задания скорости и режима поворота на заданный угол; отсутствие возможности управления и обмена данными с персональным компьютером или микроконтроллером.

2 Разработка устройства управления BLDC двигателем

2.1 Обзор робототехнической платформы

Робототехническая платформа предназначена для выполнения задач транспортировки и исследования в условиях высокой проходимости. А также отработки и исследования на её базе алгоритмов векторного управления

Робототехническая платформа должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- Регулировать основные параметры в зависимости от задач.
- Осуществлять передачу информации о движении.
- Управление движением с помощью персонального компьютера.
- Отрабатывать мероприятия по противоаварийной защите.

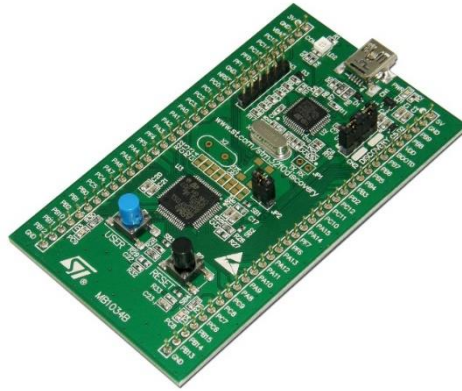
Задачи, выполняемые робототехнической платформой:

- Передвижение на заданное расстояние и в заданном направлении.
- Движение с установленными скоростью или моментом.
- Поддержание заданных скорости и момента.
- Поворот на необходимый угол.
- Передача основных параметров на пульт оператора.

Робототехническая платформа осуществляет движение за счет шести мотор-колес. Каждый двигатель управляется собственным драйвером. Управляющие команды для драйверов и обмен данными с оператором осуществляет центральный микроконтроллер. Для питания платформы на неё установлены три аккумулятора, суммарное напряжение которых 36В.

Для того что бы представить принцип работы системы управления робототехнической платформы, была реализована структурная схема (рисунок 3), она определяет основные элементы системы и их назначение.

Верхний уровень



Средний уровень



Нижний уровень



Рисунок 3 – Структурная схема роботизированной платформы

В рамках дипломного проекта работа будет осуществляться с нижним и частично со средним уровнем. На среднем уровне будут описаны алгоритмы управления и подбор элементов.

2.2 Описание движителя

В качестве объекта управления для СУ выступает бесколлекторный двигатель постоянного тока (БДПТ) в англоязычной литературе он имеет аналогичное название BrushLess Direct Current drive (BLDC). Одной из основных отличительных особенностей данного типа двигателя от Вентильного Двигателя (ВД) или Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) является трапецеидальная форма противо-ЭДС и управляющего напряжения. Но BLDC двигатель можно управлять синусоидальным напряжением и его характеристики будут мало отличаться от двигателей, представленных выше. Управление синусом вносит ряд преимуществ в работу двигателя:

- Плавное вращение.
- Отсутствие рывков.
- Отсутствие шума при работе.

Бесколлекторные двигатели сочетают в себе надежность машин переменного тока и хорошую управляемость машин постоянного тока. Отсутствие щеточно-коллекторного узла лишает многих проблем:

- Искрение.
- Помехи.
- Износ щёток.
- Плохой теплоотвод якоря.

Ротор бесколлекторных двигателей имеет некоторое количество пар магнитов, от числа магнитов зависит количество пар полюсов двигателя, а от них, в свою очередь, происходит зависимость механического вращения от электрического. В зависимости от расположения ротора относительно статора, двигатели бывают: Inrunner ротор находится внутри статора, и Outrunner где ротор поверх статора с обмотками.

Статор состоит из электротехнической стали в пазы которого уложена медная обмотка. От числа обмоток зависит количество фаз. В нашем случае двигатель трехфазный, такое количество обмоток является самым распространенным. Обмотки подключаются по схеме «звезда» или «треугольник» (рисунок 4). Трехфазный двигатель имеет три вывода для управления.

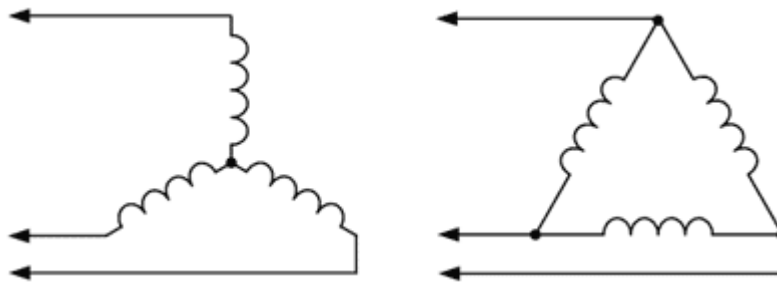


Рисунок 4 – Схемы подключения обмоток

В данном дипломном проекте используется двигатель со схемой подключения «звезда»

Щеточно-коллекторный узел заменен на плату коммутации обмоток.

Одним из основополагающих элементов для управления двигателем является определение положения ротора. Для этого на двигатель устанавливают датчики, это могут быть датчики Холла или же энкодер, расположенный на роторе двигателя. Если же на двигатели отсутствуют какие-либо датчики положение ротора определяют путем измерения противо-ЭДС на свободной фазе.

В данном проекте был использован BLDC двигатель с тремя датчиками Холла входящий в состав мотор-колеса (рисунок 5). На роторе которого располагаются 16 магнитов образующих 16 полюсов. Для совершения полного механического оборота вала потребуется совершить 8 электрических оборотов. Указанное колесо не имеет на своем корпусе опознавательных знаков так как было снято с гироскутера произведенного в Китае.

На основе данных о гироскутере и проведении исследования были получены некоторые характеристики (таблица 1).

Таблица 1. Характеристики мотор-колеса

Параметр	Ед. измерения	Значение
Номинальное напряжение	Вольты	36
Номинальная мощность	Ватты	500
Максимальная скорость	Км/ч	35
Скорость вращения	Об/мин	530
Диаметр шины	мм	360
Вес	Кг	7.1
Ширина шины	мм	116

Было измерено сопротивление обмоток двигателя так, как их схема подключения «звезда» (рисунок 4), измерение производилось сразу двух обмоток, а потом это значение делилось на два. Сопротивление одной обмотки составило 0.26 Ом. Далее был рассчитан ток короткого замыкания для различных напряжений питания по формуле:

$$I_{кз} = \frac{U}{2 * R_{об}}$$

где $I_{кз}$ - ток короткого замыкания обмоток, А;

U – напряжение, подаваемое на обмотки, В;

$R_{об}$ – сопротивление одной обмотки, Ом.

Таблица 2. Зависимость тока КЗ от напряжения

Напряжение, В	12	24	36
Ток, А	23.07	46.15	69.23



Рисунок 5 – Мотор-колесо

2.3 Способы управления бесколлекторным двигателем с постоянными магнитами

От формы напряжения подаваемого системой управления на фазы двигателя зависят такие параметры как:

- Максимальный момент
- Скорость регулирования
- Скорость реагирования

2.3.1 Блочная коммутация

Самый просто с точки зрения реализации способ управления является блочная коммутация. Она характеризуется прямоугольной формой фазного напряжения и трапецевидной формой противо-ЭДС. Трехфазные двигатели имеют 6 состояний коммутации. После отработки последовательности, этапы повторяются. Как было сказано выше, для полного механического оборота необходимо чтобы система отработала 8 циклов по 6 переключений. То есть 48 коммутаций за оборот. Переключение следующего состояния происходит в момент прихода сигнала с соответствующего датчика Холла (рисунок 6).

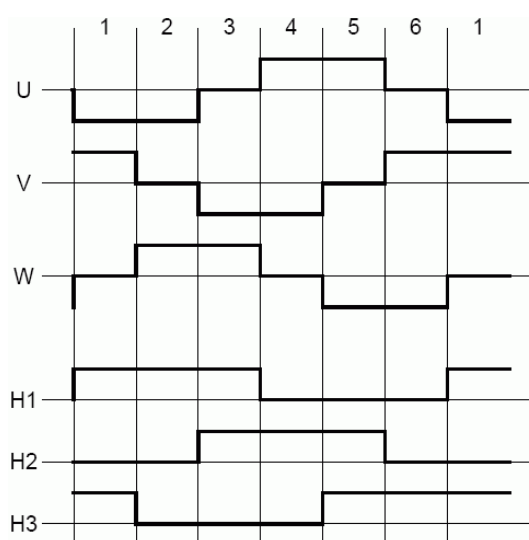


Рисунок 6 – Зависимость управляющих сигналов от сигналов с датчиков

Управление скоростью при данном способе осуществляется на счет изменения среднего напряжения на обмотках. Регулирование которого происходит по средствам ШИМ (Рисунок 7). Выходной сигнал модулируется из управляющего сигнала и высокочастотного, скважность которого регулируется оператором.

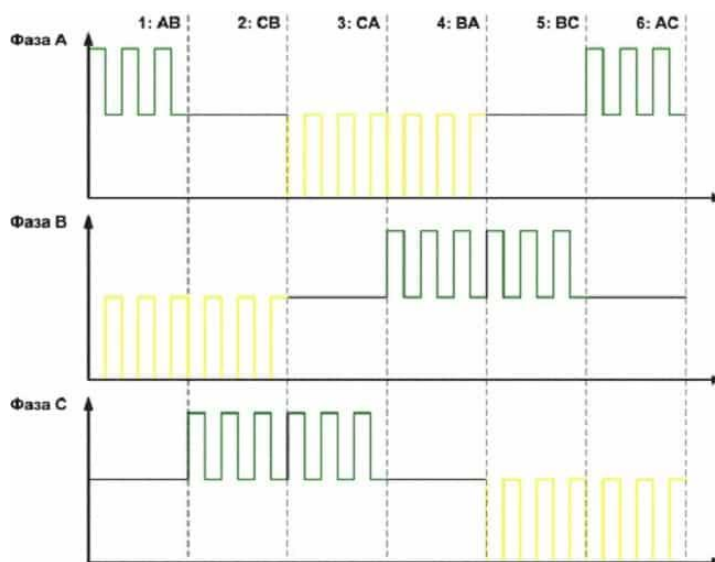


Рисунок 7 – Форма выходного напряжения, блочная коммутация

Данный способ регулирования не нуждается в больших вычислительных мощностях микроконтроллера, осуществляет вращение двигателя с постоянным моментом и может осуществлять изменение направления вращения.

2.3.2 Управление синусоидальным напряжением

Для решения проблемы с пульсацией момента двигателя в момент переключения фаз было принято решение использовать синусоидальную форму фазных напряжений, которые обеспечивают плавное вращение магнитного поля статора. Для реализации данного метода на три фазы двигателя должно подаваться независимое напряжение. Генерация которого осуществляется по средствам ШИМ (рисунок 8). Как и в прошлом методе среднее напряжение регулируется скважностью ШИМ, но теперь значение скважности строго зависит от положения ротора, а оператор регулирует только коэффициент, на который перемножается каждое значение скважности.

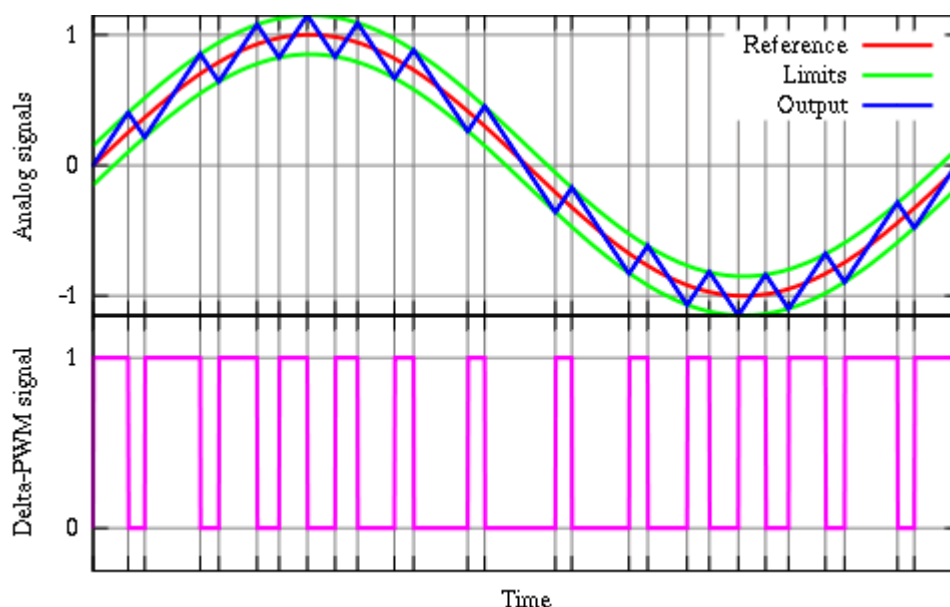


Рисунок 8 – Зависимость напряжения на фазе от управляющего сигнала

Чтобы каждый раз не пересчитывать значения скважности ШИМ была создана и загружена в микроконтроллер уже готовая таблица с значением синуса. Для двух других фаз берется эта же таблица, но смещается на 120 градусов.

2.3.3 Векторное управление

Самым ресурсозатратным и сложным в исполнении является способ управления, основанный на алгоритме векторного управления. Основопологающим принципом векторного управления является то, что двигатель достигает максимального момента, когда вектор ротора перпендикулярен вектору тока, находится под 90° . Для реализации этого метода необходимо измерять токи на каждой фазе двигателя для расчета вектора тока.

Классическим векторным управлением считается метод задания момента (рисунок 9).

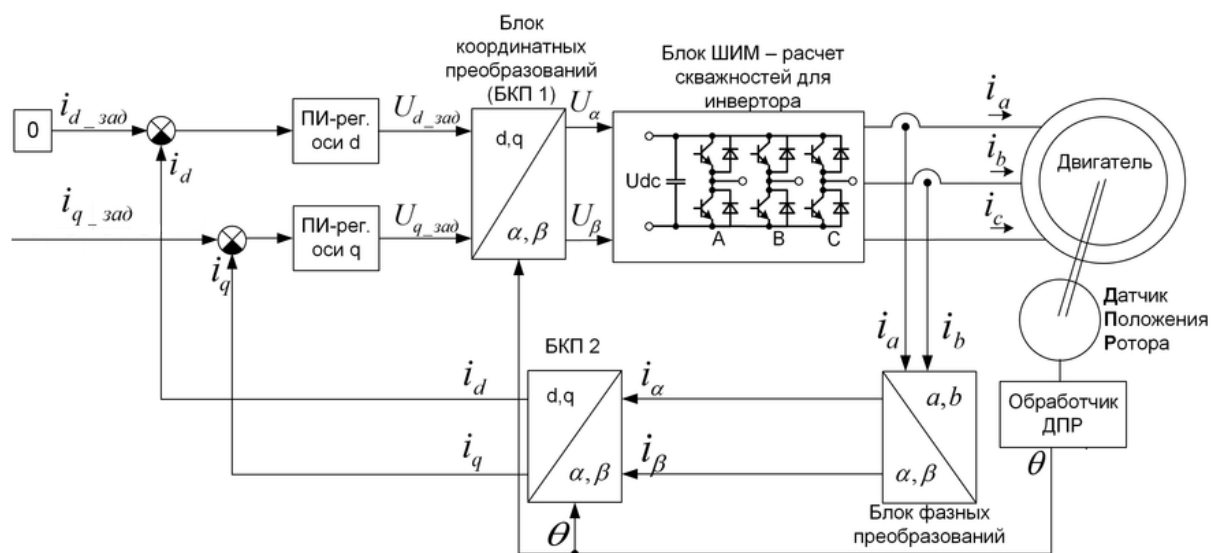


Рисунок 9 – Функциональная схема алгоритма движения с постоянным моментом

Первой задачей для реализации служит пересчет трехфазных токов в двухфазные для этого в схеме присутствует блок фазных преобразований в основе этого блока лежат преобразования Эдит Кларк (рисунок 10).

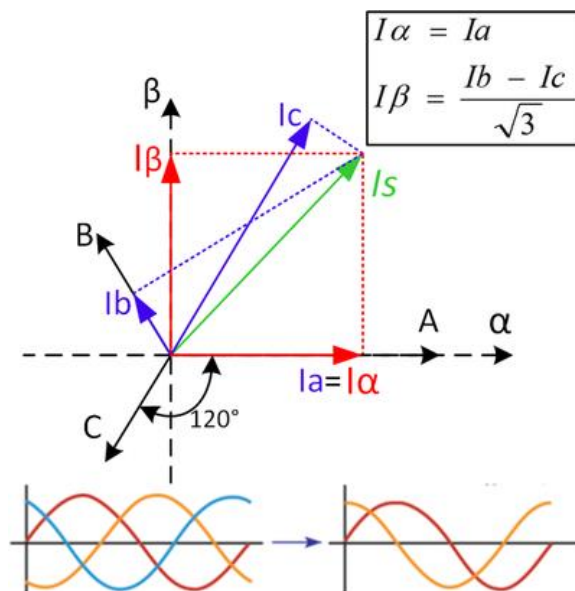


Рисунок 10 – Преобразования Эдит Кларк

Ещё одной особенностью векторного управления является преобразование статичных осей α и β в вращающиеся относительно ротора оси d и q и наоборот. В англоязычной литературе их называют преобразования Парка.

Этими преобразованиями занимаются БКП 1 и 2 (рисунок 9).

На выходе БКП 1 (рисунок 6) будет вектор напряжения, на его основе происходит перерасчет скважности ШИМ для задания напряжения на фазах двигателя.

В данном методе происходит задача момента двигателя оператором.

Метод требует больших вычислительных мощностей микроконтроллера.

2.4 Описание алгоритма управления

Для полноценной работы робототехнической платформы были разработаны алгоритмы управления, позволяющие осуществлять:

- Движение колеса с постоянной скоростью
- Движение колеса с постоянным моментом
- Поворот колеса на заданный угол

2.4.1 Движение колеса с постоянным моментом

Поддержание постоянного момента на валу колеса является основополагающим режимом в работе векторной системы управления, на его основе строятся другие режимы управления. Это связано с тем, что момент развиваемый двигателем пропорционален амплитуде вектора тока по оси q (рисунок 9).

2.4.2 Движение колеса с постоянной скоростью

Одним из самых востребованных функций робота является движение с постоянной скоростью. При эксплуатации робота в складских помещениях или на предприятии в качестве транспортера, где используются различные роботизированные системы, движение по строгому графику является обязательным условием вне зависимости от приложенной нагрузки.

Структурная схема алгоритма представлена на рисунке 11.

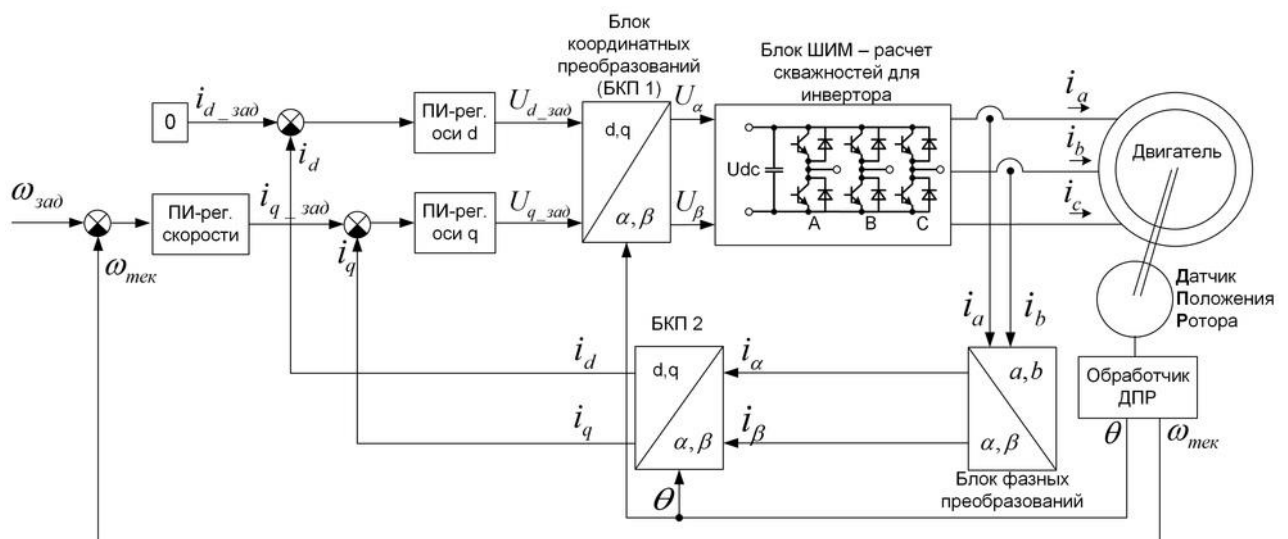


Рисунок 11 – Функциональная схема алгоритма движения с постоянной скоростью

2.4.3 Поворот колеса на заданный угол

Для осуществления поворотов роботизированной платформы вокруг своей оси и для преодоления заданного небольшого расстояния был разработан режим «сервопривода» или же поворот колеса на заданный угол. Части этого алгоритма используются для подсчёта пройденного расстояния каждого колеса и платформы в целом.

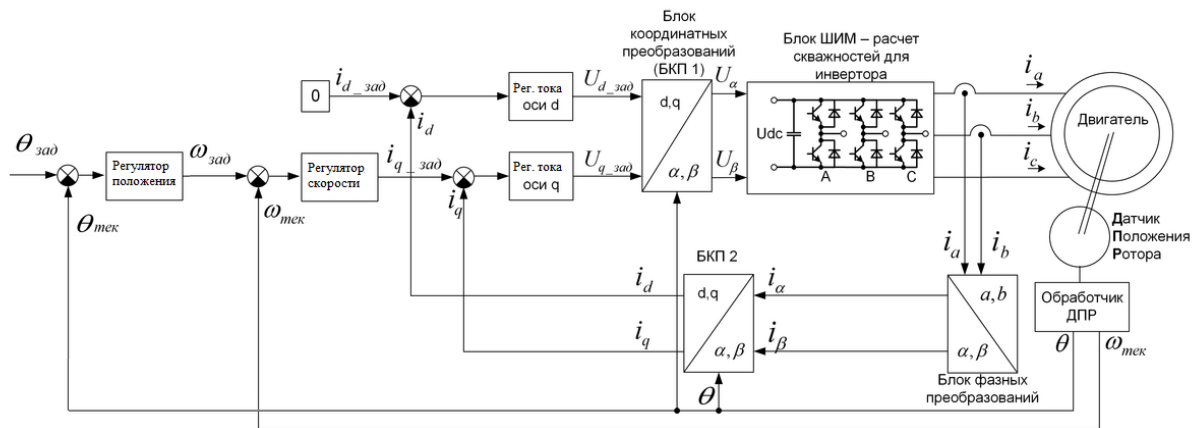


Рисунок 12 – Функциональная схема алгоритма поворота на заданный угол

2.5 Разработка схемы драйвера двигателя

Для исследования всех способов и алгоритмов управления BLDC двигателем и для дальнейшей интеграции в роботизированную платформу была разработана и изготовлена схема контроллера управления.

2.5.1 Подбор компонентов силовой части

Основной элемент коммутации – транзистор. На сегодняшний день на рынке присутствует большое количество типов транзисторов. Для наших целей интерес представляют IGBT и MOSFET транзисторы благодаря их преимуществам над биполярным сегментом:

- Выше скорость перехода между состояниями проводимости и непроводимости тока.
- Выше помехоустойчивость и надежность работы.
- Усиление по току намного выше.

Для оценки максимального тока работы воспользуемся обобщенным графиком характеристик BLDC двигателей.

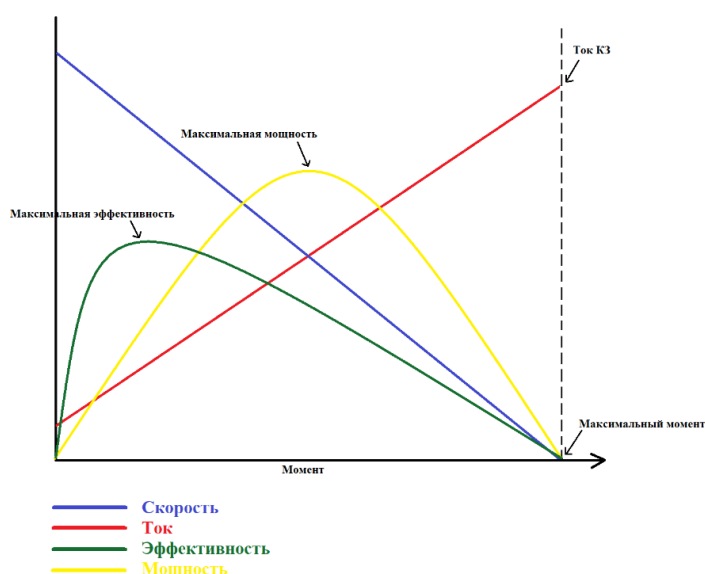


Рисунок 7 – График характеристик BLDC двигателей

Так как драйвер разрабатывается для векторной системы управления. Одним из преимуществ которой, является достижение работы двигателя с максимальной мощностью. Исходя из этого мы можем оценить ток для подбора транзистора. На графике видим, что ток находится в диапазоне 10-30% от тока КЗ. Будем для расчетов брать 30%.

$$I_{\text{мах.раб_36}} = I_{\text{кз_36}} * 0.3 = 69.23 * 0.3 = 20.77 \text{ A}$$

$$I_{\text{мах.раб_24}} = I_{\text{кз_24}} * 0.3 = 46.15 * 0.3 = 13.84 \text{ A}$$

$$I_{\text{мах.раб_12}} = I_{\text{кз_12}} * 0.3 = 23.06 * 0.3 = 6.91 \text{ A}$$

Проанализировав рынок компонентов, нами был выбран MOSFET транзистор IRFZ44N (рисунок 13) [7]. Его характеристики полностью соответствуют требуемым. Но основное его преимущество над аналогами — это легкодоступность в любом магазине радиоэлектроники.

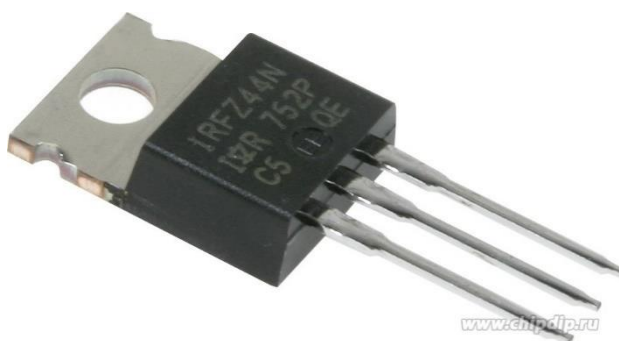


Рисунок 13 – Внешний вид IRFZ44N [7]

Таблица 3. Характеристики IRFZ44N [7]

Структура	N-канал
Максимальное напряжение сток-исток, В	55
Максимальный ток сток-исток при 25С, А	41
Максимальное напряжение затвор-исток, В	20
Сопротивление канала в открытом состоянии при 25С, Ом	0.0175
Пороговое напряжение на затворе, В	4
Средняя розничная цена на 2020 год, Руб	48

Рассчитаем максимальную мощность, которую будет выделяться на транзисторе. Для дальнейшего расчета оценочно возьмем рабочую температуру кристалла транзистора (T_J) равную 125°C и температуру окружающей среды вокруг транзистора (T_A) 45°C . Необходимо найти сопротивление открытого канала транзистора (R_{DS}), воспользуемся данными из документации к транзистору [7].

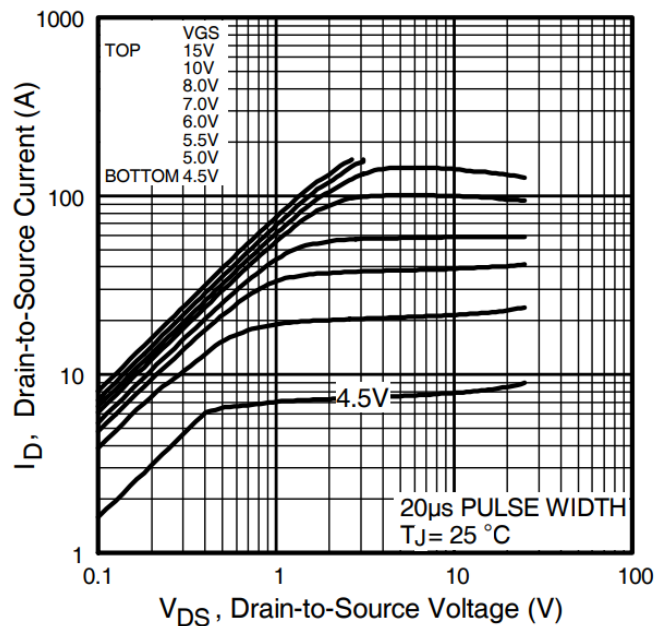


Рисунок 13 – График выходной характеристики [8]

Из рисунка 13 находим напряжение, которое будет рассеиваться в виде тепла на переходе (V_{DS}) при температуре кристалла 25°C . Напряжение на затворе транзистора (V_{GS}) = 12В; Ток, проходящий через транзистор (I_D) = 20.77А. Отсюда, $V_{DS} = 0,3\text{В}$. Найдем R_{DS}^* :

$$R_{DS}^* = \frac{V_{DC}}{I_D} = \frac{0,3}{20,77} = 0,0144 \text{ Ом}$$

У полевых транзисторов с ростом температуры кристалла (T_J) растет и сопротивление открытого канала (R_{DS}). Воспользуемся графиком зависимости этих величин.

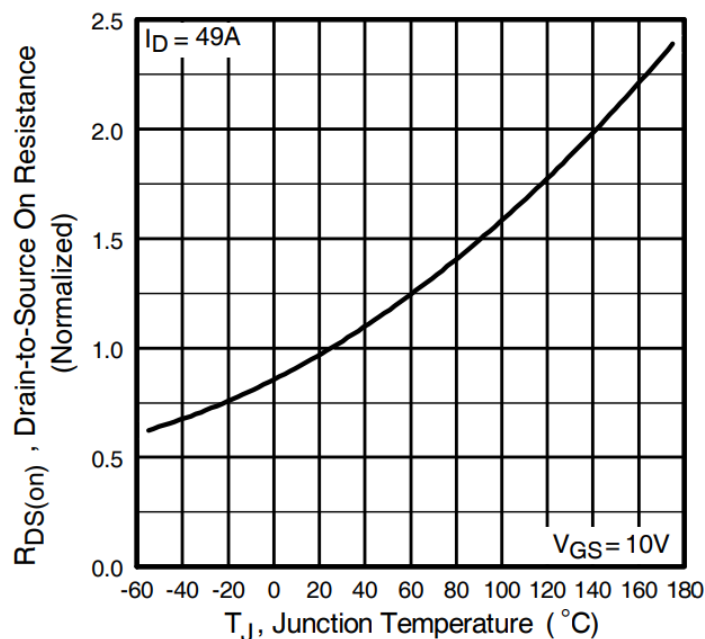


Рисунок 14 – График зависимости сопротивления открытого канала от температуры [8]

При температуре кристалла (T_J) 125°C сопротивление открытого канала увеличится приблизительно в 1.6 раза. Отсюда:

$$R_{DC} = R_{DS}^* \cdot 1.6 = 0.0144 \cdot 1.6 = 0.023 \text{ Ом}$$

Для управления напряжением на двигателе используется Широтно-Импульсная Модуляция в связи с этим существует необходимость расчета выделяемой мощности в моменты открытия и закрытия транзистора.

Оценить время переключения ключей можно по формуле [9]:

$$t = C_{iss} \cdot (R_h + R + R_g)$$

где C_{iss} – емкость затвора полевого транзистора;

R_h – внутреннее сопротивление драйвера;

R – сопротивление резистора в цепи затвора;

R_g – внутреннее сопротивление затвора транзистор [8].

$$Rh = U/I_{max}$$

Где I_{max} это максимальный выходной ток.

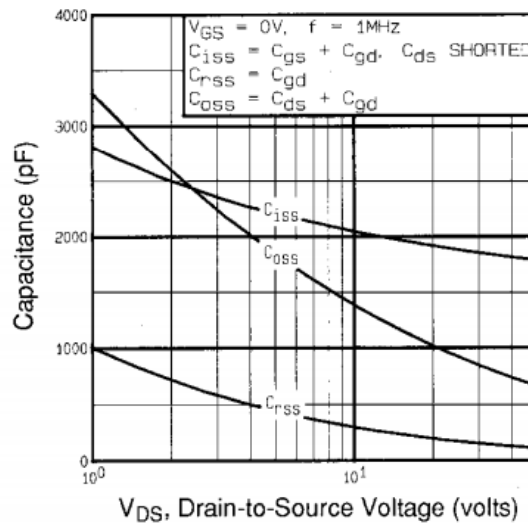


Рисунок 15 – График зависимости емкости от напряжения затвора транзистора IR2101PBF [8]

Напряжение затвора 12В, поэтому суммарная емкость затвора равняется 2000пФ.

Рассчитаем время переключения

$$I_{max} = 210 \text{ мА} = 0.21 \text{ А}$$

$$C_{iss} = 2000 \text{ пФ} = 2 * 10^{-9} \text{ Ф}$$

$$R = 15 \text{ Ом}$$

$$R_g = 0.8 \text{ Ом}$$

$$t = C_{iss} * \left(\frac{U}{I_{max}} + R + R_g \right) = 2 * 10^{-9} \text{ Ф} * \left(\frac{12\text{В}}{0.21\text{А}} + 150\text{м} + 0.80\text{м} \right) \\ = 144 * 10^{-9} \text{ С} = 144\text{нС}$$

При частоте ШИМ 30 КГц, время открытого канала много больше чем суммарное время, затрачиваемое на открытие/закрытие, поэтому время переключения игнорируем.

Для расчета мощности в открытом состоянии (Р) рассмотрим наихудший вариант, когда коэффициент заполнения (D) = 0.99.

$$P = I_D^2 * R_{DC} * D = 20.77^2 * 0.023 * 0.99 = 9.82 \text{ Вт}$$

Мощность, выделяемая на транзисторе в виде тепла, составляет 9.82Вт.

Рассчитаем тепловое сопротивление радиатора, необходимого для рассеивания тепла от транзисторов. Воспользуемся формулой [10]:

$$T_J = T_A + (R_{\theta JC} + R_{\theta CS} + R_{\theta R}) * P$$

где: T_J – температура кристалла транзистора;

T_A – температура окружающей среды;

$R_{\theta JA}$ – тепловое сопротивление между переходом и корпусом;

$R_{\theta JA}$ – тепловое сопротивление силиконовой изолирующей прокладки;

$R_{\theta JA}$ – тепловое сопротивление между радиатором и окр. средой;

$$T_J = 125^\circ\text{C}$$

$$T_A = 45^\circ\text{C}$$

$$R_{\theta JC} = 1.5^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$R_{\theta CS} = 0.5^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

$$P = 9.82 \text{ Вт}$$

$$R_{\theta R} = \frac{T_J - T_A}{P} - R_{\theta JC} - R_{\theta CS} = \frac{125 - 45}{9.82} - 1.5 - 0.5 = 6.14^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Необходимо подобрать радиатор с тепловым сопротивлением $6.14^\circ\text{C}/\text{Вт}$ или меньше. Подходящим вариантом является радиатор компании Kinsten Industrial, модель HS 184-30.

Таблица 4. Характеристики HS 184-30 [11]

Длина, мм	30
Ширина, мм	41
Высота, мм	30
тепловое сопротивление, град/Вт	5.1
Вес, г	50

Для достижения необходимой скорости открытия/закрытия транзисторов и для минимизации итоговой платы было принято решение использовать готовые сборки драйверов ключей верхнего и нижнего уровней.

Основными критериями для поиска были:

- Максимальный выходной ток нарастания/спада.
- Время задержки.
- Диапазон рабочих напряжений.
- Цена.

Сравнение характеристик драйверов FAN7842MX и IR2101PBF представлены в таблице 5.

Таблица 5. Характеристики FAN7842MX и IR2101PBF [12, 13]

Наименование	FAN7842MX	IR2101PBF
Максимальный выходной ток нарастания/спада, А	0.35/0.4	0.21/0.270
Время задержки, нс	170	160
Диапазон рабочих напряжений, В	10..20	10..20
Максимальное напряжение смещения, В	600	200
Средняя розничная цена на 2020 год, Руб	54	65

Имея схожие характеристики в проекте мог использован любой из представителей, но более подробно изучив документацию о них было выяснено, что представитель компании Infineon Technologies IR2101PBF имеет более высокие скоростные характеристики, что является несомненным преимуществом. Драйвер имеет корпус формата DIP-8 (рисунок 15), что позволяет разместить его в непосредственной близости от транзистора тем самым уменьшаем размеры платы.

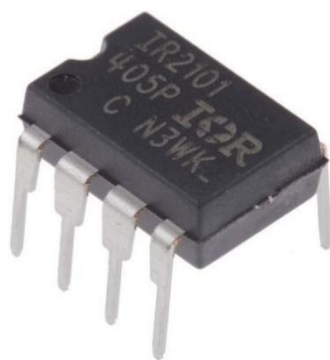


Рисунок 15 – Внешний вид IR2101PBF [14]

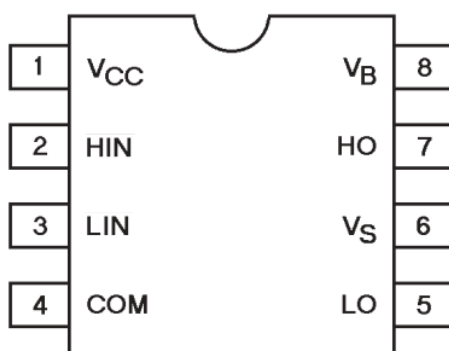


Рисунок 16 – Расположение выводов IR2101PBF [14]

Таблица 6. Описание выводов IR2101PBF [14]

Обозначение	Описание
HIN	Логический вход управления выходом драйвера верхнего уровня
LIN	Логический вход управления выходом драйвера нижнего уровня
VB	Напряжение питания ключей верхнего уровня
HO	Выход драйвера верхнего уровня
VS	Возврат питания верхнего уровня
Vcc	Питание драйверов нижнего уровня и логики
LO	Выход драйвера нижнего уровня
COM	Возврат питания нижнего уровня

При необходимости уменьшить время переключения необходимо увеличить напряжение питания драйвера или заменить драйвер на аналог с более высоким током на выходе.

Конденсаторы C1 и C2 (см. схему № 1 [14]) подбираются с учетом того, что их напряжение должно быть не меньше $U = 12 \text{ В}$. Емкость должна быть достаточной, чтобы обеспечивать открытым транзистор необходимое время, но не слишком большой, так как процесс заряда будет проходить долго и уровень напряжения не будет увеличиваться в достаточной степени чтобы сохранить MOSFET включённым. Чем большее время требуется во включённом состоянии, тем большая требуется ёмкость. Для приблизительной оценки емкости конденсатора воспользуемся формулой [15]:

$$T = 3RC$$

где: T - время разряда/заряда конденсатора на оценочные 100%;

R - сопротивление, через которое происходит разряд/заряд;

C - емкость конденсатора.

Рассчитаем емкость конденсатора при самых плохих условиях: разряд длится 100% от времени периода; разряжается на 63% от всей емкости. Сопротивление находим через напряжение на конденсаторе и максимальный ток разряда [15].

$$T = RC$$

$$\nu = 10\text{КГц} = 10000\text{Гц}$$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{10000\text{Гц}} = 1 * 10^{-4}\text{с}$$

$$R = \frac{U}{I_{\text{max}}} = \frac{11,4\text{В}}{0,21\text{А}} = 580\text{Ом}$$

$$C = \frac{T}{R} = \frac{1 * 10^{-4}\text{с}}{580\text{Ом}} = 1,72 * 10^{-6}\text{Ф} = 1,72\text{мкФ}$$

На практике же, заряд конденсатора не должен снижаться ниже 90%. Поэтому была подобрана пара конденсаторов электролитический емкостью 22мкФ и керамический 0.1мкФ.

Конденсатор C3 (см. схему № 1 [14]) подбирался тем же методом, но его напряжение должно быть больше 36 В. И не стоит забывать про габаритные размеры элементов, они не должны мешать дальнейшей установке схемы в робота.

Резисторы R1 и R2 (см. схему № 1 [14]) были подобраны экспериментально, при более низком их значении происходили случаи ложного открытия ключей и не полного закрытия.

Диод D1 (см. схему № 1 [14]), а в дальнейшем ещё два диода, которые не указаны в схеме из документации, подбирались с учетом максимального прямого тока 1А. Так как максимальный выходной ток драйвера составляет 0.27 А.

2.6 Разработка датчика тока

2.6.1 Обзор аналогов датчика тока

На рынке представлено много датчиков тока. Имеющих различные способы измерения. Самые популярные это датчики тока на эффекте Холла и датчики, измеряющие падение напряжения на шунтирующем резисторе. Для рассмотрения были взяты представители, имеющие подходящие габаритные размеры.

В83, Датчик постоянного тока на 30А [16].

Датчик тока работает на базе микросхемы ACS712ELC-30A, это модуль измерения тока на эффекте Холла. В линейке микросхем моделей способных измерить большие токи нет. Максимальный измеряемый ток 30А. Напряжение питания 5В. Чувствительность модуля 100мВ/А. Пропускная способность 50кГц. Розничная стоимость: 243 руб.

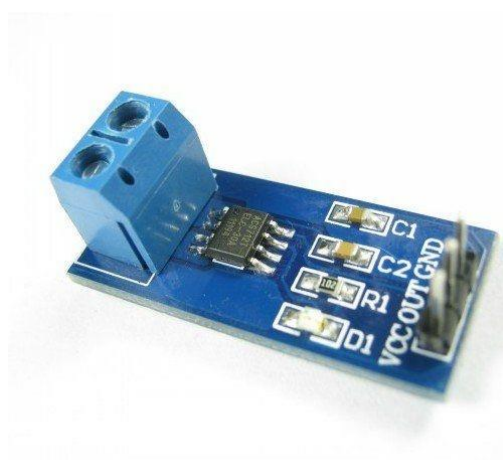


Рисунок 17 – Датчик тока В83 [16]

CSLA1CD, Датчик тока линейный на 57А [17].

Линейный датчик тока с разомкнутым контуром, который обеспечивает выходное напряжение, пропорциональное измеряемому току, без

использования управления обратной связью. Измерение постоянного и переменного токов. Максимальных измеряемы ток 57А. Напряжение питания 8-16В. Чувствительность 200мВ/А при напряжении питания 12В.



Рисунок 18 – Датчик тока CSLA1CD [17]

Проанализировав полученные в ходе изучения данные были сделаны следующие выводы. Датчики тока на микросхемах серии ACS712ELC имеют подходящие размеры для установки, но ток, который они могут измерить весьма ограничен. Датчик CSLA1CD способен измерять необходимые нам токи, но возможность установки на плату отсутствует.

В связи с этим, было принято решение разработать датчик тока самостоятельно. В качестве метода детектирования будем использовать падение напряжения на известном сопротивлении.

2.6.2 Расчет элементов

Входными параметрами для разработки датчика тока будут:

Максимальный ток проходящий через датчик ограничивается предельно допустимым током транзистора и составляет 51А;

Опорным напряжением АЦП микроконтроллера STM32F103C8T6 составляет 3.3В.

Для минимизации тепловых потерь на резисторе было принято решение использовать сопротивление 0.001Ом. Отсюда, рассеиваемая мощность составляет:

$$I = 51\text{А}$$

$$R = 0.001\text{Ом}$$

$$P = I^2 * R = 51^2 * 0.001 = 2.6\text{Вт}$$

где: I – это максимально допустимый ток через датчик;

R – это сопротивление резистора.

При таких токе и сопротивлении, падение напряжения на резисторе составляет:

$$U = I * R = 51 * 0.001 = 0.051\text{В}$$

Чувствительность 0.001В/А.

Разрядность АЦП микроконтроллера STM32F103C8T6 [21] составляет 10 бит. При опорном напряжении 3.3В, разрешение будет 0.0032В. Отсюда можно сделать вывод, что необходимо повысить чувствительность датчика тока. Для усиления выходного напряжения будем использовать дифференциальный усилитель на операционном усилителе.

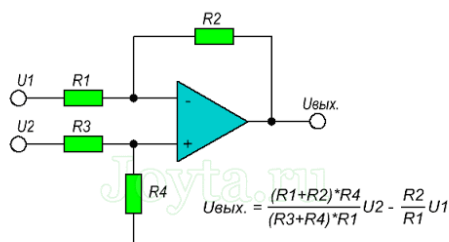


Рисунок 18 – Схема диф. усилителя

Так как ток изменяется в диапазоне $[-51\text{A}, +51\text{A}]$, а АЦП микроконтроллера не может измерять отрицательное напряжение были принято решение поднять точку нулевого положения на напряжение 1.5В .

При пиковых тока напряжение на выходе ОУ не должно превышать 3.3В . Рассчитаем коэффициент усиления используя полученные данные [18]:

$$U_{\text{изм}} = 0.051\text{В}$$

$$U_{\text{вых.мах}} = 3.3\text{В}$$

$$U_{\text{нул.пол}} = 1.5\text{В}$$

$$K = \frac{U_{\text{изм.усли}}}{U_{\text{изм}}} = \frac{U_{\text{вых.мах}} - U_{\text{нул.пол}}}{U_{\text{изм}}} = \frac{3.3 - 1.5}{0.051} = 35.29$$

И в отрицательную сторону:

$$K = \frac{U_{\text{изм.усли}}}{U_{\text{изм}}} = \frac{U_{\text{нул.пол}} - U_{\text{нул}}}{U_{\text{изм}}} = \frac{1.5 - 0}{0.051} = 29.41$$

где: $U_{\text{изм}}$ – напряжение снимаемое с резистора;

$U_{\text{изм.усли}}$ – усиленное измеренное напряжение;

$U_{\text{нул.пол}}$ – выходное напряжение при нулевом токе;

K – коэффициент усиления.

Исходя из вычислений, коэффициент усиления не должен превышать 29. Для избежание перенапряжения на входе АЦП усилитель будет рассчитываться под коэффициент усиления 20.

Расчет элементов схемы усилителя

Коэффициент усиления зависит от номиналов сопротивлений, указанных на Рисунке 3. Для простоты расчетов номиналы сопротивлений R_1 , R_3 и R_2 , R_4 будем брать равными, отсюда формула примет вид:

$$U_{\text{вых}} = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$

И коэффициент усиления:

$$K = 20$$

$$K = \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = 20 * R_1$$

Подбор номиналов резисторов должен осуществляться так, чтобы исключить протекание больших токов по цепи $R_2 R_1$. Поэтому были взяты следующие сопротивления $R_1 = 1\text{кОм}$, $R_2 = 20\text{кОм}$.

2.6.3 Разработка схемы

Измерение токов будет производиться во всех трех фазах, поэтому необходимо изготовить три датчика тока. Также необходимо разработать источник напряжения 1.5В.

В качестве простейшего источника напряжения выступает делитель напряжения на двух резисторах, а также схема буфера на ОУ для избежание смещения напряжения при изменении нагрузки. Схема представлена на Рисунке 4.

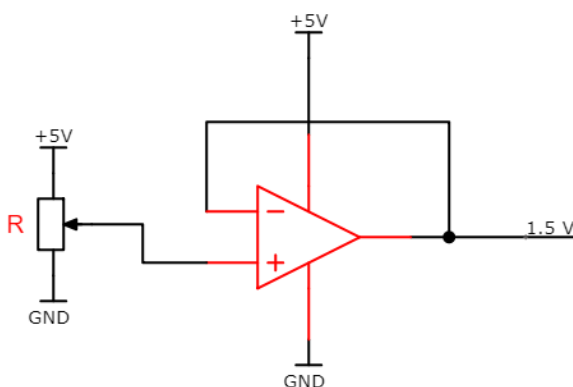


Рисунок 19 – Схема источника напряжения

Резистор служит для регулирования выходного напряжения, в схеме будет настроен на 1.5В.

Итоговая схема будет иметь вид (рисунок 20).

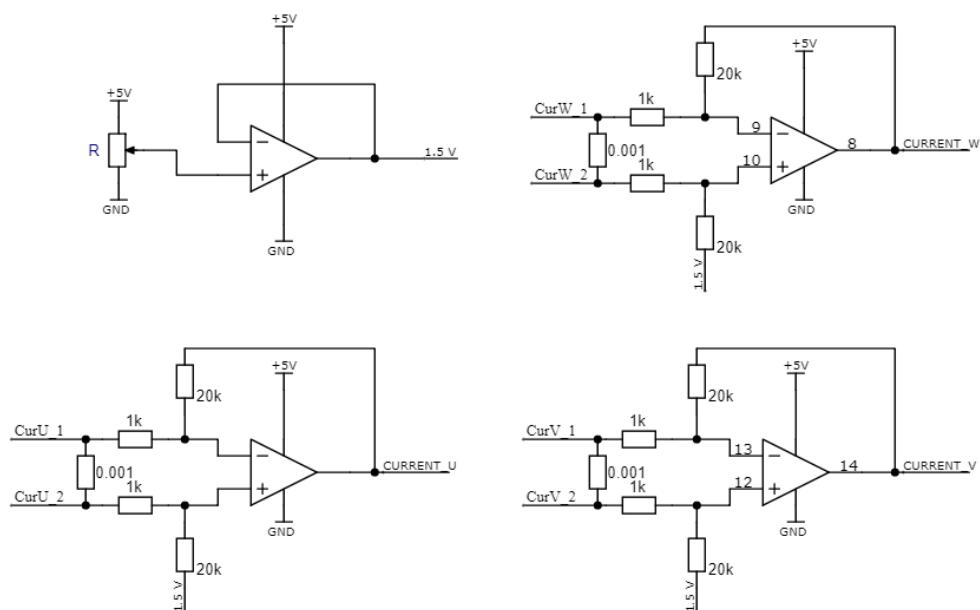


Рисунок 20 – Схема датчика тока

Схема разрабатывалась в онлайн редакторе EasyEDA [19].

Для минимизации размеров платы, резисторы использовались размера SMD 1208.

В качестве ОУ была выбрана микросхема LM324NG [20]. В корпусе которой находится 4 ОУ, что подходит под наши требования.

2.7 Выбор контроллера

Для реализации алгоритмов векторного управления для управления трехфазным бесколлекторным двигателем, необходим микроконтроллер, удовлетворяющий следующим требованиям:

- Наличие 4 аналоговых входов для измерения напряжения с трех датчиков тока и одно с подключаемого потенциометра;
- Наличие 6 цифровых входов для отслеживания сигналов с датчиков Холла, а также с внешней трёхкнопочной клавиатуры;
- Наличие 6 цифровых выходов для управления драйверами ключей;
- Наличие интерфейса UART для связи с компьютером;
- Наличие интерфейса I2C для передачи данных другим СУ колес;
- Объем Flash памяти более 20кБ.

На рынке микропроцессорной техники конкурируют две основные компании: ST Microelectronics и Microchip Technology. Сравним их представителей в одинаковой ценовой категории.

Таблица 7. Характеристики STM32F103C8T6 и ATMEGA328 [21, 22]

	STM32F103C8T6	ATMEGA328
Ширина шины данных	32-бит	8-бит
Тактовая частота	72 МГц	20 МГц
Объем памяти	64 КБайт	32 КБайт
Встроенные интерфейсы	can, i2c, irda, lin, spi, uart, usb	i2c, spi, uart
Входов АЦП	10	8
Количество входов/выходов	37	23

Имея схожую стоимость микроконтроллер STM32F103C8T6 обгоняет своего конкурента по всем параметрам. Поэтому для реализации проекта был выбран именно этот контроллер.

2.8 Разработка платы драйвера двигателя

Используя принципиальную схему, взятую из документации драйвера ключей IR2101PBF (см. схему № 1 [14]) и на основе данных полученных в результате экспериментов над этим модулем. Была разработана принципиальная электрическая схема драйвера двигателя, чертеж ФЮРА.XXXXXXX.001-ЭЗ Спецификация ФЮРА.XXXXXXX.001-ТБ и ФЮРА.XXXXXXX.001-ТБ По этой схеме была разработана печатная плата, чертеж ФЮРА.XXXXXXX.001-Э1.

Разработка принципиальной электрической схемы и печатной платы осуществлялась в онлайн редакторе сервиса EasyEDA [19].

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Организация и планирование работ

В таблице 7 представлен полный перечень проводимых работ с указанием их исполнителей и степень занятости.

Таблица 7. Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка цели	НР	НР – 100%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 20%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка блок-схемы, принципиальной и функциональной	НР, И	НР – 40% И – 100%
Выбор и расчет элементов	И	И – 100%
Проверка правильности оформления технической документации	НР	НР – 100%
Сборка опытного образца системы	И	И – 100%
Лабораторные испытания системы	НР, И	НР – 10% И – 100%
Составление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Для определения ожидаемых значений продолжительности работ $t_{ож}$ произведем расчеты по следующей формуле:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (1)$$

Где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Далее необходимо произвести расчет длительности этапов в рабочих днях, а также осуществить перевод в календарные дни с учетом влияния внешних факторов и времени на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ. Данный расчет производится по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, рассчитывается по формуле

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \text{ где} \quad (3)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

Расчет для выражения продолжительности работ в календарных днях осуществляется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}} , \quad (4)$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности.

С учетом 6-дневной рабочей недели, рассчитаем значение коэффициента календарности по формуле (3):

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,2$$


















В таблице 2 сведены расчеты продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям. В столбцах 3–5 реализован экспертный способ по формуле (1). Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для научного руководителя и инженера, с учетом коэффициентов $K_{\text{ВН}}$ и $K_{\text{Д}}$, равных 1 и 1,2 соответственно. Столбцы 8 и 9 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях согласно формуле (4).



Две последних величины (столбцы 8 и 9) – трудоемкости, рассчитанные на каждого из участников проекта, далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты, а также для построения линейного графика проекта (таблица 3).

Таблица 8 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Испол - нител и	Продолжительность работ			Трудоемкость			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка цели	НР	1	1	1	1.20	0	1.44	-
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	10	12	10.80	3.89	12.96	4.67	15.55
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2.80	3.36	0.67	4.03	0.81
Обсуждение литературы	НР, И	2	5	3.20	1.15	3.84	1.38	4.61
Разработка блок-схемы, принципиальной и функциональной	НР, И	14	18	15.60	7.49	18.72	8.99	22.46
Выбор и расчет элементов	НР, И	10	15	12.00	-	14.40	-	17.28
Проверка правильности оформления технической документации	НР, И	5	6	5.40	6.48	-	7.78	-
Сборка опытного образца системы	И	15	16	15.40	-	18.48	-	22.18
Лабораторные испытания системы	И	6	9	7.20	0.86	8.64	1.04	10.37
Составление пояснительной записки	И	4	8	5.60	-	6.72	-	8.06
Подведение итогов	НР, И	3	5	3.80	2.74	4.56	3.28	5.47
Итого				81.80	25.97	88.99	31.16	106.79

Таблица 9 – Линейный график работ

Этап	НР	И	02	Март			Апрель			Май			06
			30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
1	1.44	-											
2	4.67	15.55	 										
3	4.03	0.81			 								
4	1.38	4.61			 								
5	8.99	22.46				 							
6	-	17.28											
7	7.78	-											
8	-	22.18											
9	1.04	10.37										 	
10	-	8.06											
11	3.28	5.47											 

НР –  ; И –  .

3.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки.

3.3 Расчет затрат на материалы

Сумма затрат на материалы складывается из расходов на изделия, полуфабрикаты и другие материальные ценности, расходуемые в процессе выполнения работ. Затраты на ТЗР примем равными 10% от цены материалов.

Таблица 10 – Список компонентов

Наименование материалов	Цена	Количество	Сумма
Микроконтроллер STM32	500	1	500
Мотор-колесо	5000	1	5000
Транзистор IRFZ44N	53	6	318
Драйвер ключей IR2101	65	3	195
Операционный усилитель NE5532	16	3	48
Диод выпрямительный 1N4004	10	6	60
Стабилизатор 3,3В	43	1	43
Резисторы	2	25	50
Конденсаторы керамические	20	11	220
Конденсаторы электролитические	50	6	300
Конденсаторы электролитические пусковые	200	2	400
Клеймы	20	6	120
Разъемы штыревые	32	4	128
Текстолит	350	1	350
Припой	260	1	260
Флюс	110	1	110
Радиатор	230	6	1380
Аккумулятор	6000	1	6000
ИТОГО			15482
ИТОГО с учетом ТЗР			17030,2

3.4 Расчет заработной платы

Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Месячный оклад (МО) исполнителя берется равным окладу младшего инженера кафедры.

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{\text{МО}}{25,083}$$

Данная формула учитывает, что в году 301 рабочий день, что означает, в среднем 25,083 рабочих дня в месяце, при 6-ти дневной неделе.

Данные о расчетах затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4. Временные затраты каждого из исполнителей взяты из таблицы 2. В расчетах учтен следующий ряд коэффициентов: КПП = 1,1; Кдоп.ЗП = 1,188; Кр = 1,3, отвечающие за учет содержания в заработной плате премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки использует, соответственно. Следовательно, для перехода от тарифного оклада исполнителя, к соответствующему полному заработку необходимо оклад умножить на коэффициент Ки = 1,1 · 1,188 · 1,3 = 1,699.

Таблица 11. Расчет заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффици- ент	Фонд з/платы, руб.
НР	21760.00	867,52	26	1,699	38321,83
И	9489	378,30	89	1,699	57203,12
Итого:					95524,95

3.5 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включают в себя отчисления в пенсионный фонд, отчисления на социальное и медицинское страхование и составляют 30 % от полной зарплаты.

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3 = 95524,95 \cdot 0,3 = 28657,5$$

3.6 Расчет затрат на электроэнергию

Электроэнергия, потраченная в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}$$

где $P_{\text{об}}$ – потребляемая мощность [кВт·ч];

$t_{\text{об}}$ – время работы [час];

$C_{\text{э}}$ – цена электроэнергии [руб/кВт·ч].

Для ТПУ цена электроэнергии равна 6,59 руб/кВт·ч.

Расчет времени работы оборудования, основывается на данных таблицы 2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) с учетом того, что продолжительность рабочего дня равна 8 часам, согласно формуле:

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени. В расчетах примем $K_t = 0,6$.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном}} \cdot K_c$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки. При расчетах значение коэффициента $K_c = 1$.

Результаты расчета затрат на электроэнергию приведены в таблице 5.

Таблица 12. Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $C_{эл.об.}$, руб.
Персональный компьютер	427,2	0,3	844,6
Паяльная станция	132	0.3	260,96
Осциллограф	30	0,04	7,9
Итого:			1113,5

3.7 Расчет амортизационных расходов

Расходы на амортизационные отчисления рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{ОБ} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D}$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Значение действительного годового фонда (F_d) берется из фактического режима его использования в текущем календарном году. Для определения F_d необходимо вычислить количество рабочих часов в году. Количество рабочих дней в году при шестидневной рабочей неделе равно 298. Далее, при учете того, что рабочий день составляет 8 часов, имеем $F_d = 298 * 8 = 2384$ часа.

Для определения значения N_A необходимо использовать рамочные значения сроков амортизации (CA) оборудования.

Результат расчета амортизационных отчислений приведен в таблице 6.

Таблица 13 – Амортизационные затраты

Оборудование	N_A	$t_{рф}$	n	$C_{об}$	F_d	$C_{ам}$
Компьютер	0.33	427,2	1	40000	2384	2365,4
Паяльная станция	0.125	132	1	6500	2384	45,00
Осциллограф	0,33	30	1	43000	2384	178,6
ИТОГО						2588,9

3.8 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных документов

В процессе выполнения данной работы не было командировок, не производилась аренда помещений или оборудования, не использовались услуги связи и услуги сторонних организаций.

3.9 Расчет прочих расходов

Прочие расходы составляют 10% от суммы всех расходов и отражают неучтенные в ранее рассмотренных пунктах затраты.

$$\begin{aligned} \text{Спроч.} &= (\text{Смат} + \text{Сзп} + \text{Ссоц} + \text{Сэл. об.} + \text{Сам} + \text{Снп}) \cdot 0,1 = \\ &= 0,1 \cdot (17030 + 95524 + 28657,5 + 1113,5 + 2588,9 + 0) = 14491,4 \end{aligned}$$

3.10 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет всех затрат на разработку, можно определить полную себестоимость проекта, являющуюся суммой расходов по всем пунктам, результаты приведены в таблице 7.

Таблица 14. Общая себестоимость разработки

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	С _{мат}	17030
Основная заработная плата	С _{зп}	95524
Отчисления в социальные фонды	С _{соц}	28657.5
Расходы на электроэнергию	С _{эл}	1113.5
Амортизационные расходы	С _{ам}	2588.9
Непосредственно учитываемые расходы	С _{нр}	0
Прочие расходы	С _{проч}	14491.4
ИТОГО		159405.3

3.11 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта составляет 20% от расходов на его разработку. В данном случае прибыль составит $159405.3 \cdot 0,2 = 31881,1$ руб.

3.12 Расчет НДС

НДС составляет 20 % от себестоимости и прибыли проекта:

$$0,2 \cdot (159405.3 + 31881,1) = 38257,3 \text{ руб.}$$

3.13 Цена разработки

Цена разработки складывается из значений полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$Ц = 159405.3 + 31881,1 + 38257,3 = 229543,63 \text{ руб.}$$

3.14 Оценка экономической эффективности проекта

Результатом разработки будет являться система управления, которая будет использоваться для изучения алгоритмов управления в связи с этим экономическая эффективность проекта не может быть оценена.

3.15 Вывод по финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережению

В ходе оценки финансовой эффективности разрабатываемого проекта был разработан календарный план проведения основных работ, количество дней необходимых на разработку составило 122 рабочих дней. Были рассчитаны сметы затрат на разработку проекта, себестоимость проекта и его итоговая цена разработки, которая составила 229543,63 рублей

4 Социальная ответственность

4.1 Введение

В ходе данной работы была разработана и изготовлена плата драйвера для безколлекторного двигателя постоянного тока для изучения алгоритмов векторного управления. На данной роботизированной платформе планируется изучение и сравнение различных алгоритмов управления двигателями для дальнейшего внедрения в другие платформы. Устройство управления оснащено исполнительным механизмом, драйвером и микроконтроллером. Пользователями данного устройства будут являться студенты и преподаватели ТПУ. Работы по проектированию и реализации проводились в аудитории 101 корпуса номер 10 ТПУ. Местом будущей эксплуатации устройства управления в составе роботизированной платформы является территория около корпуса номер 10 корпуса ТПУ, а также 101 аудитория того же корпуса.

4.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Государственный надзор и контроль в организациях осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами (Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)). К таким органам относятся Федеральная инспекция труда, Государственная экспертиза условий труда, Федеральная служба по труду и занятости населения, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России) Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др. Так же в стране функционирует

Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), положение о которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации, в соответствии с которым, система объединяет органы управления, силы и средства.

Основные виды работ с устройством управления связаны с работой на персональном компьютере, а также и с аппаратной частью, поэтому важно то, как будет скомпоновано рабочее место студента. Средствами отображения информации является монитор ПК, а часто используемые органы управления — это мышь, клавиатура. Рабочее место оборудуется в соответствии требованиями ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 6 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 х 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Так же кресло оператора должно соответствовать требованиям ГОСТ 21889-76. Помимо это рабочее место должно соответствовать гигиеническим нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

4.3 Производственная безопасность

Таблица 15. Производственная безопасность

Факторы по ГОСТ	Этапы			Нормативные документы
	Разраб.	Произв.	Экспл.	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
Превышение уровня шума	-	+	+	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
Поражение электрическим током	-	+	+	ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
Повышенная напряженность электрического поля	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
				СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (1 октября 1996 г. N 21).

4.4 Отклонение показателей микроклимата

На микроклимат в рабочем помещении может влиять температура за окном, нагревательные батареи, вентиляция, а также количество включенной техники в лаборатории.

Микроклимат помещения, в котором человек находится долго, играет большую роль в работоспособности, возможности комфортно отдохнуть и расслабиться. Состояние внутренней среды здания может не только плодотворно влиять на здоровье человека, но и оказывать негативное воздействие. Микроклимат любых помещений характеризуется температурой воздуха, его влажностью и скоростью движения.

Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата приведены в таблице 1 и таблице 2 соответственно. По степени физической тяжести, работа инженера-программиста относится к категории 1а, категории лёгких работ.

Таблица 16. Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °C	Температура поверхностей, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1а (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	1а (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

В целях защиты, работающих от возможного перегрева или охлаждения, при температуре воздуха на рабочих местах выше или ниже допустимых величин, время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено.

Таблица 17. Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Диапазон температур воздуха ниже оптимальных величин	Диапазон температур воздуха выше оптимальных величин
Холодный	1а (до 139)	20,0-21,9	24,1-25	19-26	15-75	0,1	0,1
Теплый	1а (до 139)	21,0-22,9	25,1-26	20-29	15-75	0,1	0,2

4.5 Превышение уровня шума

Одним из важных факторов, влияющих на качество выполняемой работы, является шум. Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д. Такие нарушения в работе ряда органов и систем организма человека могут вызвать негативные изменения в эмоциональном состоянии человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-

психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда. Предельно допустимые уровни звукового давления представлены в таблице 3, исходя общих требований безопасности ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ

Таблица 18. Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Распространенные средства индивидуальной защиты от шума – это пробки, наушники, вкладыши (беруши) и шлемы.

Меры коллективной защиты могут включать в себя, в частности:

- Оценку риска потери слуха работником.
- Использование малошумных машин.
- Использование материалов и конструкций, препятствующих распространению шума и вибрации.
- Привлечение к работам лиц, не имеющих медицинских противопоказаний по шуму.
- Контроль правильности использования средств индивидуальной защиты.

4.6 Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны

В условиях работы в лаборатории ТПУ, могут возникать проблемы с поступлением естественного света. Согласно нормам освещенности СНиП 23-05-95, недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным фактором, который приводит к быстрому утомлению и снижению работоспособности. Плохое освещение негативно воздействует на зрение и приводит к быстрому утомлению. Средствами нормализации освещенности производственных помещений рабочих мест являются:

- источники света;
- осветительные приборы;
- световые проемы;
- светозащитные устройства;
- светофильтры;
- защитные очки.

В таблице 4 представлены регламентированные допустимые характеристики освещенности рабочих мест в учебных аудиториях в университете.

Таблица 19. Допустимые характеристики освещенности

Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
КЕО, %		КЕО, %		Освещенность, лк		Показат ель дискон форта, М, не более	Кoeffиц иент пульсаци и освещен ности, Кп, %, не более	
				При комбиниров анном освещении	При общем освещ ении			
При верхнем или комбиниро ванном освещении	При боков ом освещ ении	При верхнем или комбиниро ванном освещении	При боков ом освещ ении	Все го	От обще го			
3,2	1,2	2,1	0,7	-	-	400	40	10

Для того что бы снизить влияние данного фактора на здоровье, необходимо соблюдать допустимое время нахождения перед монитором компьютера и делать перерывы в работе. Помимо этого, возможно использование дополнительных источников света, таких как настольные лампы.

4.7 Поражение электрическим током

Поражение электрическим током возможно при контакте с силовыми цепями электродвигателя насоса.

Поражение электрическим током является наиболее опасным из всех видов вредного воздействия, по причине того, что электрический ток является

невидимым для глаз человека. Действие электрического тока на организм человека носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электролитическое и биологическое действие.

Для предотвращения поражения электрическим током помещение, где размещается рабочее место и разрабатываемое устройство, должно быть оборудовано защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации. Основными техническими средствами защиты, являются защитное заземление, как указывалось ранее, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Перед началом работы на стенде необходимо изучить правила электробезопасности, которые описаны в требованиях к электробезопасности ГОСТ 12.1.019-2017.

4.8 Повышенная напряженность электрического поля

Повышенная напряженность электрического поля может возникать в аудитории от работы электронных устройств, таких как мониторы и персональные электронно-вычислительные машины.

Негативное воздействие на человека повышенная напряженность электрического поля выражается в виде торможения рефлексов, изменения головного мозга, нарушения памяти, понижения кровяного давления, замедления сокращений сердца, нарушений в печени и селезенке, помутнения хрусталика глаза. Для того что бы уберечь людей от получения хронических заболеваний при эксплуатации стенда существуют временные требования к пребыванию в электрическом поле.

Исходя из гигиенических требований к персональным электронно-вычислительным машинам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 пребывание в электрическом поле напряженностью до 5кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня, а нахождение в поле напряженностью от 5 до 20 кВ/м допускается в течение одного часа. Необходимо отслеживать время, проведенное за работой, при необходимости осуществлять перерывы и проветривать помещение.

4.9 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассмотрим характер воздействия проектируемого устройства на окружающую среду, а также выявим предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации стенда.

Устройство управления на этапе разработки наносит вред окружающей среде за счет выбросов, которые происходят при производстве всех деталей, используемых в проектируемой системе, а также при изготовлении самого устройства при пайке компонентов. Так же в процессе работы электрические узлы стенда потребляют электроэнергию, при выработке которой, наносится вред окружающей среде.

По истечению срока эксплуатации, будет необходимо утилизировать составные компоненты, что повлечет возможное загрязнение литосферы. Поэтому нужно рассмотреть варианты утилизации деталей разрабатываемого устройства. Радиокomпоненты могут быть сданы на переработку и потом вторично использоваться. Медные провода, а также обмотка двигателя может быть сдана на переплавку. Резина с покрышек подлежит переработке, но это почти всегда целесообразно, так как вторичный материал имеет достаточно высокое качество.

4.10 Безопасность в ЧС

При выполнении работ наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в лаборатории. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожарной опасности, анализируемое в данной работе помещение относится к категории В. Основные источники возникновения пожара:

- Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях;
- Электрические приборы с дефектами;
- Перегрузка в электроэнергетической системе и короткое замыкание в электроустановке.

Человек, выполняющий работы в аудитории, в случае возникновения пожара или его признаков (задымление, запах горения или тления различных материалов, повышение температуры и т.п.) обязан:

- Немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную часть (при этом необходимо четко назвать адрес учреждения, место возникновения пожара, а также сообщить свою должность и фамилию);
- Задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации людей из здания в безопасное место согласно плану эвакуации;
- Принять по возможности меры по тушению пожара имеющимися в учреждении средствами пожаротушения и сохранности материальных ценностей;

— Известить о пожаре руководителя или другого работника.

Меры безопасности обеспечиваются системами предотвращения пожара и противопожарной защиты исходя из требований пожарной безопасности ГОСТ 12.1.004-91.

Средствами обеспечения пожаробезопасности являются:

- Огнетушитель, которым обеспечена аудитория, а также пожарный кран, находящийся в здании;
- Системы автоматической пожарной сигнализации;
- Средства организации эвакуации, в том числе технические;

Мероприятиями обеспечивающие пожаробезопасность являются:

- Обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- Пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- Обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

Перед началом работы необходимо пройти инструктаж и оставить свою роспись в журнале о прохождении инструктажа по пожарной безопасности.

4.11 Вывод по социальной ответственности

В данном разделе были проанализированы основные опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации устройства, представленного в ВКР. Были изучены государственные стандарты и нормы.

Заключение

В ходе выполнения данной работы были:

- проведен литературный обзор и патентный поиск по аналогам или подобным решениям;
- изучены способы управления бесколлекторными двигателями;
- разработана принципиальная электрическая схема драйвера двигателя;
- проведен расчет компонентов драйвера двигателя;
- разработана печатная плата драйвера двигателя;

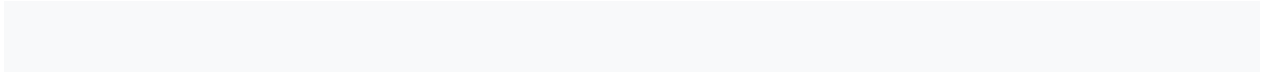
А также проведен анализ финансовой эффективности и социальной значимости проекта.

Conclusion

In the course of this work were:

- a literature review and patent search were conducted by analogy or similar solutions;
- methods for controlling brushless motors have been studied;
- the circuit diagram of the engine driver is developed;
- calculation of engine driver components has been performed;
- there is a printed circuit board of the engine driver;

The analysis of the financial efficiency and social significance of the project.



Список источников

- 1 Система управления. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_управления (Дата обращения: 16.04.2020).
- 2 Бесколлекторный двигатель постоянного тока. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://samelectrik.ru/chto-takoe-beskollektornyj-dvigatel-postoyannogo-toka.html> (Дата обращения: 16.04.2020).
- 3 Микроконтроллер. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Микроконтроллер> (Дата обращения: 16.04.2020).
- 4 Векторное управление. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/Векторное_управление (Дата обращения: 16.04.2020).
- 5 Руководство по эксплуатации драйвера BLDC-5015A для бесколлекторного двигателя [Документ PDF]. Режим доступа: свободный. Название документа: driver_brushlessmotor_blcdc_5015a_user_manual_ru.pdf (Дата обращения: 20.04.2020).
- 6 Характеристики контроллера 15GSM500W. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.voltbikes.ru/shop/electrovelosiped/management-controllers/controller-36-48-volt-33-amp-500-watt-12-fet-mod-greene/> (Дата обращения: 20.04.2020).
- 7 Транзистор IRFZ44NPBF. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://startali.ru/i/33028591170.html> (Дата обращения: 12.05.2020).

- 8 Транзистор IRFZ44NPBF Даташит. [Документ PDF]. Режим доступа: свободный. Название документа: DOC000144481.pdf (Дата обращения: 12.05.2020).
- 9 Электрическая мощность. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C (Дата обращения: 12.05.2020).
- 10 Расчет радиатора для транзистора, [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://elektrik.info/main/praktika/1296-kak-rasschitat-radiator-dlya-tranzistora.html> (Дата обращения: 12.05.2020).
- 11 Радиатор HS 184-30, [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.chipdip.ru/product/hs-184-30> (Дата обращения: 12.05.2020).
- 12 Драйвер для управления затвором верхнего и нижнего уровней FAN7842MX. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.chipdip.ru/product/fan7842m> (Дата обращения: 12.05.2020).
- 13 Драйвер ключей верхнего и нижнего уровней IR2101PBF. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.chipdip.ru/product/ir2101> (Дата обращения: 12.05.2020).
- 14 Драйвер ключей верхнего и нижнего уровней IR2101PBF Даташит. [Документ PDF]. Режим доступа: свободный. Название документа: DOC000223844.pdf (Дата обращения: 12.05.2020).
- 15 Конденсатор и RC цепочка. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://easyelectronics.ru/kondensator-i-rc-serochka.html> (Дата обращения: 12.05.2020).

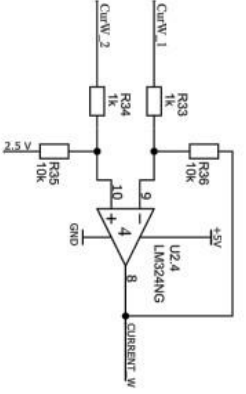
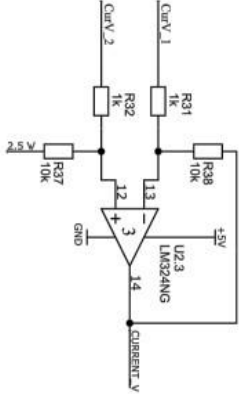
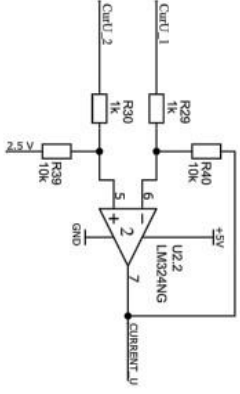
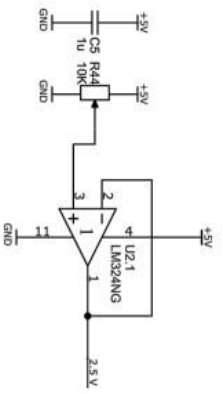
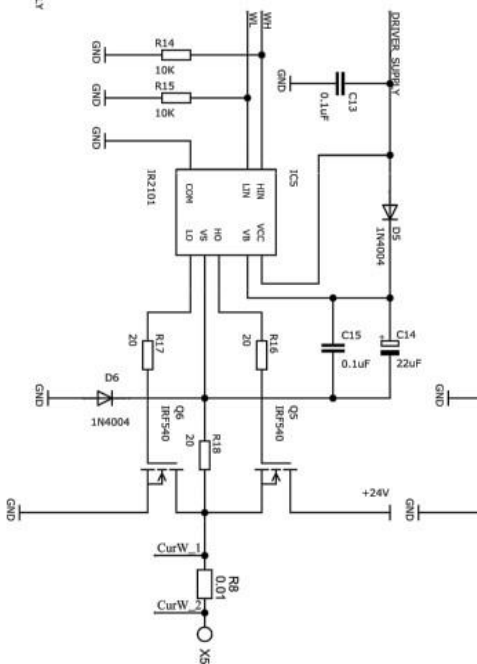
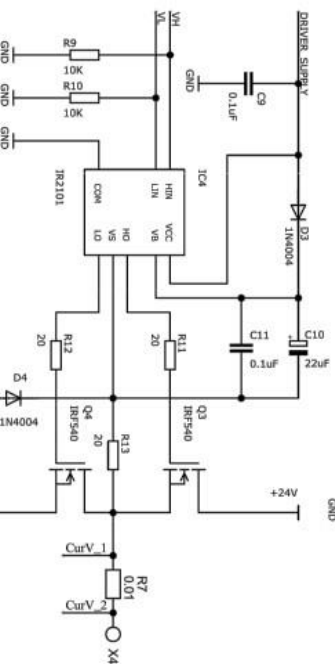
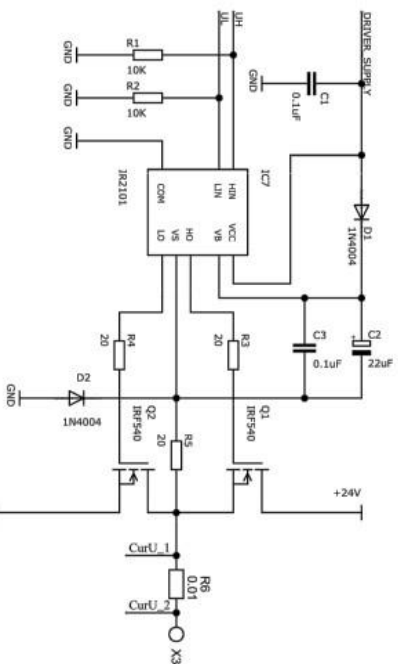
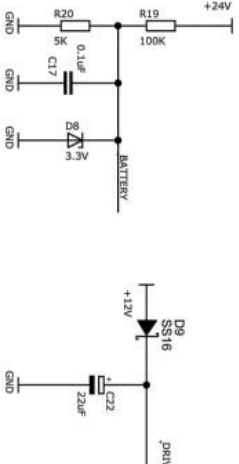
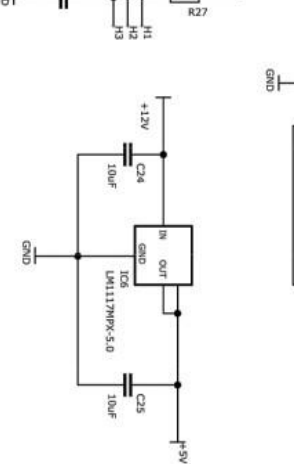
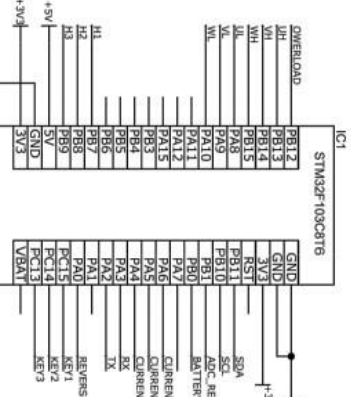
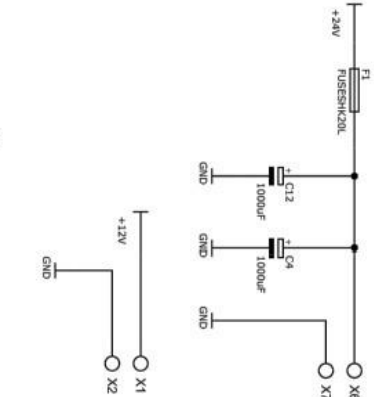
- 16 Датчик постоянного тока В83. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.s-line.ru/catalog/Datchiki/16868/> (Дата обращения: 04.06.2020).
- 17 Датчик постоянного тока CSLA1CD. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.chipdip.ru/product/csla1cd> (Дата обращения: 04.06.2020).
- 18 Дифференциальный усилитель на ОУ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://www.joyta.ru/9432-differencialnyj-usilitel-princip-raboty/> (Дата обращения: 04.06.2020).
- 19 Онлайн среда разработки EasyEDA. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://easyeda.com/> (Дата обращения: 04.06.2020).
- 20 Операционный усилитель LM324N. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.chipdip.ru/product/lm324n-2> (Дата обращения: 04.06.2020).
- 21 Микроконтроллер STM32F103C8T6, [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.chipdip.ru/product/stm32f103c8t6> (Дата обращения: 04.03.2020).
- 22 ATmega328/P Даташит. [Документ PDF]. Режим доступа: свободный. Название документа: DOC001549488.pdf (Дата обращения: 04.03.2020).

Приложение А
(Обязательное)

Документация для драйвера двигателя

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
				<u>Документация</u>		
			ФЮРА.ХХХХХХ.00133	Схема электрическая		
				принципиальная		
				<u>Детали</u>		
		1	ФЮРА.ХХХХХХ.001 Э1	Плата печатная	1	
				<u>Прочие изделия</u>		
				<u>Диоды</u>		
		2	1N4004	Диод	6	D1,D2,D3
				выпрямительный		D4,D5,D6
		3	SS16	Диод Шоттки 1A,60B	1	D7
		4	SS16	Стабилитрон 3,3B	1	D8
				<u>Микросхемы</u>		
		5	IR2101	Драйвер MOSFET	3	IC1,IC2,IC4
				ключей		
		6	IR2101	Линейный	1	IC3
				стабилизатор		
				напряжения		
			ФЮРА.ХХХХХХ.001 ТБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Драйвер двигателя	
Разраб.		Игнатюк С.Д.				
Провер.		Зарницын А.Ю.				
Утвердил					ТПУ ИШИТР Группа 8Е61	
					Лит.	Лист
					ч	Листов
					1	2

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
				Предохранитель		
		7		Предохранитель, 20А	1	F1
				Резисторы		
		8	CF-25 (C1-4)	20 Ом, 0.25 Вт, $\pm 5\%$	9	R3,R4,R5,
						R11,R12,R13,
						R16,R17,R18
		9	CF-25 (C1-4)	100 Ом, 0.25 Вт, $\pm 5\%$	3	R22,R23,R24
		10	CF-25 (C1-4)	1кОм, 0.25 Вт, $\pm 5\%$	1	R30
		11	CF-25 (C1-4)	4,7кОм, 0.25 Вт, $\pm 5\%$	3	R25,R26,R27
		12	CF-25 (C1-4)	5,1кОм, 0,25 Вт, $\pm 5\%$	1	R20
		13	CF-25 (C1-4)	10 кОм, 0.25 Вт, $\pm 5\%$	6	R1,R2,R9,
						R10,R14,R15
		14	CF-25 (C1-4)	100кОм, 0.25 Вт, $\pm 5\%$	2	R19,R28
				Конденсаторы		
		15	ЕСАР (K50-35)	0.47 мкФ, 25 В, 20%	3	C19,C20,C21
		16	ЕСАР (K50-35 мини)	0.1 мкФ, 50 В, 20%	8	C1,C3,C9,C11,
						C13,C15,C17,
						C23
		17	ЕСАР (K50-35)	10 мкФ, 16В, 20%	2	C24,C25
		18	ЕСАР (K50-35)	22 мкФ, 16В, 20%	4	C2,C10,C14,
						C22
		19	ЕСАР (K50-35)	1000 мкФ, 16В, 20%	2	C4,C12
Разр.		Игнатюк С.Д.			ФЮРА.XXXXXXX.001 ТБ	
Пров.		Зарницын А.Ю.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
						2



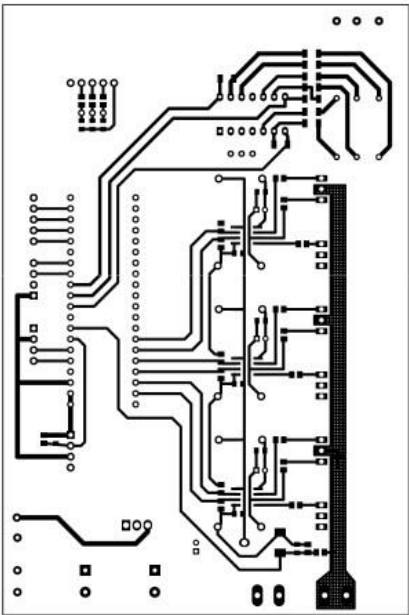
ΦΙΟΡΑ.XXXXXX.001.33

Лит.	Масса	Масштаб
		1 : 1

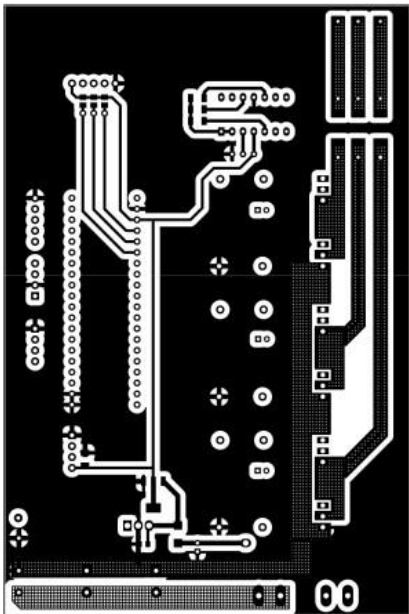
Драйвер gbusameia	TTV ИЛИТР ОАР Грына 8Е61	Писм 1 Писмоб 1
-------------------	-----------------------------	-------------------

[illegible]

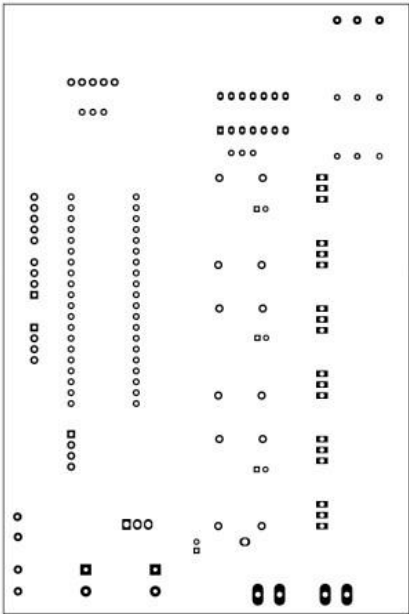
Справ. ?	Перв. примен.



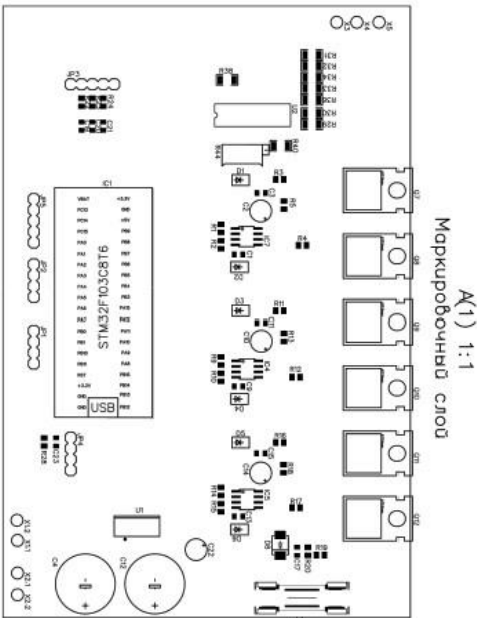
А(1) 1:1
Слой пробоящего рисунка



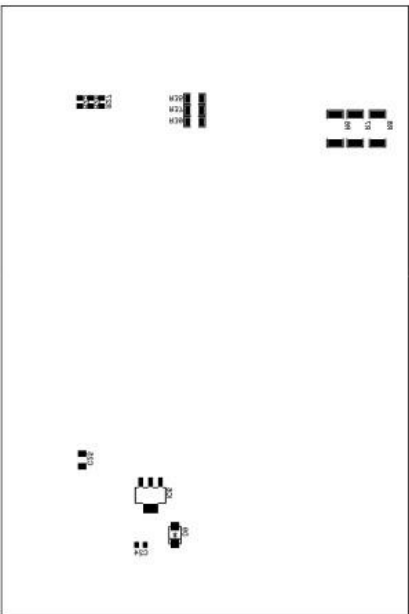
В(1) 1:1
Слой пробоящего рисунка



А(1) 1:1
Посадочные отверстия



А(1) 1:1
Маркировочный слой



В(1) 1:1
Маркучовичный слой

Инв. ? подл.	Подп. и дата	Взам. инв. ?	Инв. ? дубл.	Подп. и дата

[illegible]